

## 減圧環境下におけるプラズマアクチュエータによる 流れ場制御

著者	佐藤 響之介
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	87
号	1
ページ	112-113
発行年	2018-08
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/00123458">http://hdl.handle.net/10097/00123458</a>

修士学位論文要約（平成30年 3 月）

# 減圧環境下におけるプラズマアクチュエータによる流れ場制御

佐藤 響之介

指導教員：安藤 晃， 研究指導教員：高橋 和貴

## Flow Field Control by Plasma Actuator under Reduced Pressure Environment

Kyonosuke SATO

Supervisor: Akira ANDO, Research Advisor: Kazunori TAKAHASHI

The effect of flow separation control under reduced pressure flow field has been investigated using an ACDBD plasma actuator (PA). We quantitatively measured pressure distribution around a flat plate immersed in the Mars wind tunnel, where a flow field is visualized by the Schlieren method qualitatively. Flow separation was more effectively suppressed at 10 kPa of gas pressure than at 20 kPa. A large density fluctuation occurred in a separation shear layer in the case of 10 kPa. Also, as a burst frequency of AC voltage increases, the measured pressure distribution suggests that the separated flow approached to the surface of the airfoil. It seems that the intermittent actuation of PA causes the density fluctuation, resulting in the flow separation control.

### 1. はじめに

航空機にはたらく揚力、抗力は機体周りの流れによって決まる。航空機は迎角の増加に伴い揚力を得て飛行するが、ある迎角で揚力が急激に低下する失速が起こる。失速は翼上面から主流が離れるはく離と呼ばれる現象が原因で起こる。したがって、はく離を抑制することが失速の防止に繋がる。航空機はしばしば低圧環境で飛行する。例えば、高度を上げると圧力が減少するため、巡航時は低圧での飛行となる。また、近年 JAXA や NASA で開発されている火星探査用航空機も低圧動作対象となる<sup>1)</sup>。火星環境は地球と大きく異なり、地球の 1/100 程度の圧力となる。これらの低圧環境では強い粘性作用により流れがはく離しやすく、低圧環境における流体制御デバイスが必要とされている。

本研究でははく離制御デバイスとしてプラズマアクチュエータ(PA)に注目した。PA は誘電体バリア放電(DBD)により流体を制御するデバイスとして近年注目を浴びている。PA は単純構造である点や能動制御が可能である点など数々の利点を有し、大気圧環境の航空機への適用を中心として風車や自動車への適用など多数の研究結果が報告されてきた<sup>2)</sup>。しかし、低圧環境への PA の適用を目指した研究はほとんど行われていない。

以上の背景から、低圧流れ場における PA のはく離制御効果を検証することを本研究の目的とする。そのために平板翼模型周りの圧力分布計測、シュリーレン法による流れ場の可視化計測を行い、定量的・定性的にはく離制御効果を評価した。

### 2. 実験装置および方法

本研究では火星大気風洞にて流れ場試験を行った。火星大気風洞では総圧 1～60 kPa、マッハ数 0.1～0.7 の範囲で低圧流れ場を発生させることができる<sup>3)</sup>。風洞には翼弦長 50 mm、翼幅 100 mm の模型を設置可能である。本実験ではこのスケールに合わせた翼厚 2.5 mm の平板模型を用いた。前縁と後縁には R 加工を施し、翼上面翼弦長方向に等間隔で 16 ヶ所空けた穴から圧力分布を計測できる。PA は模型の最も先端に当たる位置(翼弦長方向 0%)から上面に放電が進展するように貼り付けた。電極には厚さ 0.03 mm の銅テープを、誘電体には厚さ 0.08 mm のポリイミドテープ 3 枚をそれぞれ用いている。PA には PSI 社の PA 基準電源を用いて電圧波形を印加し、放電を発生させた。基準電源から出力される電圧波形は外部あるいは内部で成形した信号波形とトリガ信号で決まり、任意の波形・タイミングで PA を駆動することができる。本研究では 1 周期対して 10%の時間だけ交流波形を ON するバースト波形で PA を駆動し、この周期的な駆動周波数(バースト周波数  $f_{burst}$ )に着目して実験を行った。本実験では  $f_{burst}$  を(1)式に従って流速  $U_\infty$  と翼弦長  $c$  で無次元化した周波数  $f^*$  を用いる。本実験条件を表 1 に示す。

$$f^* = f_{burst} \cdot c / U_\infty \quad (1)$$

表 1: 実験条件

総圧 $P_t$	10, 20 kPa	電圧 $V$	5~7 kVpp
マッハ数 $M$	0.1	交流周波数 $f_{base}$	15, 20 kHz
迎角 $\alpha$	8 deg.	$f^*$	0.25~3

### 3. 圧力分布計測

多点圧力スキヤナを用いて各翼弦長の静圧  $P_m$  と参照圧  $P_{ref}$  の差圧を測定し、式(2)に従い動圧で無次元化した圧力係数  $C_p$  に換算して圧力分布を求めた。

$$C_p = \{(P_m - P_{ref}) - (P - P_{ref})\} / (1/2 \cdot \rho U_\infty^2) \quad (2)$$

総圧 20 kPa、10 kPa それぞれの  $C_p$  分布計測結果を図 1 に示す。翼弦長 41%より前縁側は PA で覆われてしまったため、47%より後縁側を計測した。PA-OFF 時の後縁の  $C_p$  が負圧になっていることから、迎角  $8^\circ$  では流れがはく離していると考えられる<sup>4)</sup>。PA を駆動すると翼中腹から後縁にかけて  $C_p$  が 0 に近づくように変化し、その変化量は  $f^+$  と共に増加することが分かった。この結果から、高い  $f^+$  で PA を駆動するほど翼面に沿って圧力回復を起こし、はく離が抑制されたと考えられる。また、総圧 20 kPa よりも 10 kPa の場合の方が全体として大きな圧力変化が生じることが分かった。

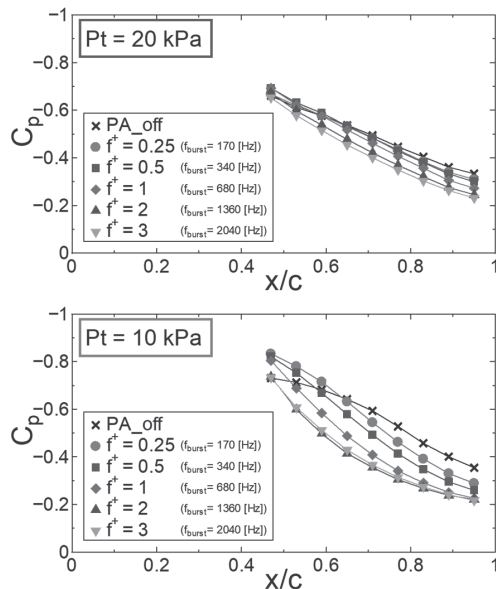


図 1 各圧力における  $C_p$  分布の  $f^+$  依存性

### 4. シュリーレン法による流れ場の可視化計測

本実験ではシュリーレン法を用いて流れ場の可視化を行った。シュリーレン法は測定部に生じた密度勾配を明暗として可視化できる方法である。総圧 10 kPa で一定とし、 $f^+$  を 0.25、1 の 2 通りに対して測定した。画像は  $680 \times 480$  pixel、フレームレート 20000 fps、シャッタースピード  $1/20000$  s の条件で高速度カメラを使用して取得した。PA 駆動の 1 周期を 10 分割し、各周期終わりの 1 枚の画像を用いて結果を示す。

図 2 に各条件のシュリーレン画像を示す。主流が画像左から流れたことで翼前縁から伸びている明暗ははく離せん断層と呼ばれ、この迎角ではく離してい

ることを表す。1/10T では PA を駆動した直後であるため、電極に沿って発生した誘起流が翼面に明暗として確認できる。それと同時にせん断層の輝度変化、振動が観測された。このときの  $f^+$  による違いを見ると、 $f^+ = 0.25$  の方が強い明暗が生じていることが分かった。9/10T のとき、 $f^+ = 0.25$  では流れ場の変化が減衰してしまっているが、 $f^+ = 1$  ではせん断層の明暗が強く、渦状の明暗も見られる。この結果から、 $f^+ = 1$  のときは流れ場に断続的な密度揺動が生じていることが分かった。

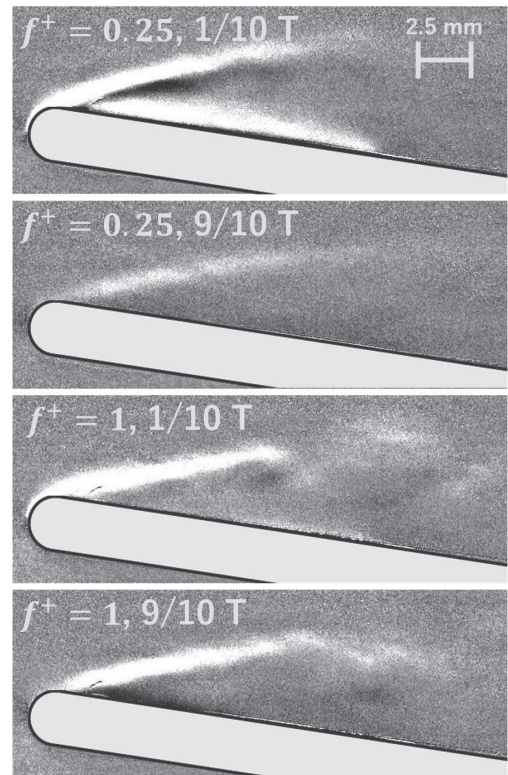


図 2 各  $f^+$ 、周期におけるシュリーレン画像

### 5. まとめ

圧力分布計測より減圧環境においても PA のはく離制御効果が確認され、その効果は  $f^+$  に伴って増大した。流れ場の可視化計測より、高い  $f^+$  で PA を駆動し、断続的な流れ場の密度揺動を起こすことが重要であることを明らかにした。以上本研究より、減圧環境でも PA を適用できる可能性が示唆された。

#### 文献

- 1) J. Murray and P. Tartabini, *Aero.*, **39** (2001) 839.
- 2) E. Moreau, *J. Appl. Phys.*, **40** (2007) 605.
- 3) M. Anyoji, H. Nagai and K. Asai, *AIAA Aero.*, **47** (2009) 1517.
- 4) M. Anyoji, *Diss. Tohoku Univ. Ph.D. thesis.*, (2011)